

抑制船载天线互耦方法的研究

张江锋¹, 赵惠莲², 黄小龙¹, 张 骅¹, 张 磊¹

(1. 西安电子科技大学 电子工程学院, 陕西 西安 710071;

2. 陕西电力职工培训中心 送电网实训处, 陕西 西安 710032)

摘 要 文中应用矩量法和一致性几何绕射理论的混合方法, 研究有限导电平面上单极子天线间的电磁耦合问题, 分析各有限导电平面尺寸及缝隙对耦合的影响, 提出了减小电磁耦合的一种新方法。计算结果表明, 合理地选取导电平面尺寸能使天线间的耦合变小; 导电平面上开有半波长的多缝隙也可较好地降低耦合, 而缝隙的宽度和间隔对耦合的影响较小。

关键词 天线耦合; 缝隙; 矩量法; 一致性几何绕射理论

中图分类号 TN821⁺.3 **文献标识码** A **文章编号** 1007-7820(2010)04-038-04

Study of Approaches to Suppressing Mutual Coupling between Shipborne Antennas

Zhang Jiangfeng¹, Zhao Huilian², Huang Xiaolong¹, Zhang Hua¹, Zhang Lei¹

(1. School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. Power Distribution Training Department, Shaanxi Power Staff Training Center, Xi'an 710032, China)

Abstract The hybrid approaches of MoM and UTD is used to study the electromagnetic coupling between monopoles on the bounded conducting planes. The effect on the coupling of the size of the conducting planes and the slots is analyzed. And a novel method for reducing the coupling is presented. The calculation results show that proper size of each bounded conducting plane can make the coupling smaller, and lots of the half wavelength slots excavated on the bounded conducting planes can also reduce the coupling well, but the effect of the width and the space of the slots on the coupling is little.

Keywords antenna coupling; slot; MoM; UTD

移动平台如舰船上的天线等(通常为单极子天线)常相互紧靠而工作于相同或不同的波段。因为它们的安装位置一般都是受限的, 而与其相接的导电平面也是有界的, 为此这些天线间的耦合通常比较大, 文中就抑制此耦合提出两种方法并加以研究。

1 理论分析

图 1 所示为两互不相连的有限导电平面上各有一相平行放置的单极子天线, 此即为所要分析的模型。而当天线 1 作为发射天线工作时, 要将部分电磁能量耦合到天线 2 上, 则天线 2 的耦合电场 E_2 由天线 1 的直射场、导电平面的反射场及其边缘所引起的绕射场 3 部分组成, 即

$$E_2 = E_i + E_r + E_d \quad (1)$$

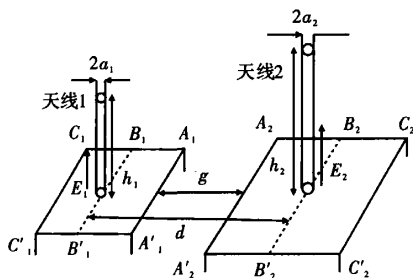


图 1 有限接地导电平面上两单极子天线间的互耦

1.1 直射场与反射场的计算

在讨论的模型中天线的长度 l 与源点和耦合场点间的距离 r 是相当的, 根据文献[4]可知直射电场

$$E_{i,z} = -j30I_m \left[\frac{\exp(-jk r_1)}{r_1} + \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} - 2\cos(kl) \frac{\exp(-jkr)}{r} \right] \quad (2)$$

式中, r , r_1 , r_2 分别为天线 1 的中心和上、下两端点到 P 点的距离。而天线上的电流分布 $I(z)$ 可利用 Hallen 方程及矩量法求解。

其平面可近似为理想导电平面, 故反射场可用镜

收稿日期: 2009-09-28

作者简介: 张江锋(1985-), 男, 硕士研究生。研究方向: 电磁兼容, 射频电路设计。

像法求得。

1.2 绕射场的计算

与一次绕射相比二次绕射较小,为此在文中的计算中只考虑一次绕射,由文献[1]可知,由导电平面边缘引起的绕射有6种不同的轨迹,这6种类型是依据场点、源点和绕射边界的位置关系来分类的。除过3和4类型有两个场分量外,其它每一绕射轨迹产生一个分量,为此天线2的绕射电场可以写成8个分量的和,每分量为

$$E_{d,n}(z_2) = -Z_0 \sqrt{\frac{k^3}{32\pi^3}} \exp\left(-j\frac{\pi}{4}\right) \times \int_{\delta(n,3)-d-l_n/2}^{\delta(n,3)-d+k/2} \int_0^{h_1} \{D_{h,n}(\psi'_n, \psi_n) \left(1 - \frac{j}{ks_n}\right) \frac{I_1(z'_1) \cos\beta'_n \cos\psi_n \cos\varphi_n \sin\alpha_n}{s'_n s_n} \times \exp[-jk(s_n + s'_n)]\} dz'_1 dx_n \quad (3)$$

2 计算结果及分析

文献[1]中把计算的模型具体为两平面上有相同的单极子天线,天线的长度 $h_1 = h_2 = 0.245 \lambda_0$, 半径 $a_1 = a_2 = 0.0058 \lambda_0$; 两平面均为正方形,边长 $l_1 = l_2 = 0.29 \lambda_0$; 两天线间的距离 $d = 0.55 \lambda_0$, 并且都位于各自平面的中心处。所研究频带的中心频率 $f_0 = c/\lambda_0$, 两天线均采用 50Ω 同轴馈电。

图2为文中的计算数据与文献[1]的计算和实验数据对比,频率为 f_0 的归一化,通过图2验证了文中计算的正确性。

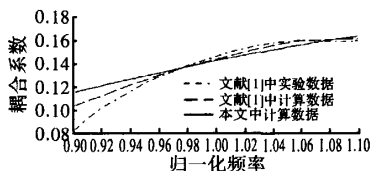


图2 文献[1]中模型的耦合系数

由于绕射场是由导电平面的边缘引起的,为此平面的尺寸对耦合是有影响的,图3为耦合系数随两平面的边 $A_1A'_1$, $C_1C'_1$ 和 $A_2A'_2$, $C_2C'_2$ 的长度变化的曲线,由图3可知平面的边长约为 $\frac{3}{4} \lambda_0$ 时,两天线间的耦合最小。

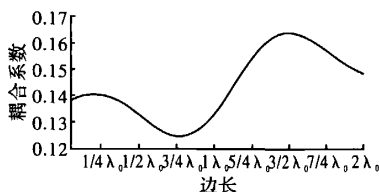


图3 耦合系数随平面边长的变化

由于天线及平面间的距离在实际中都不易改变,

现保持 d 和 g 不变,并取边 $A_1A'_1$, $C_1C'_1$ 和 $A_2A'_2$, $C_2C'_2$ 的长均为 $0.76 \lambda_0$, 图4(a)和图4(b)分别为耦合系数随平面1的半边、和平面2的半边 B_1C 、 $B'_1C'_1$ 的长度而变化的曲线,由图4可知当平面1的这一半边长为 $\frac{3}{4} \lambda_0$ 时两天线间耦合最小,而平面2的这一半边约在 $\frac{1}{2} \lambda_0$ 时最佳。

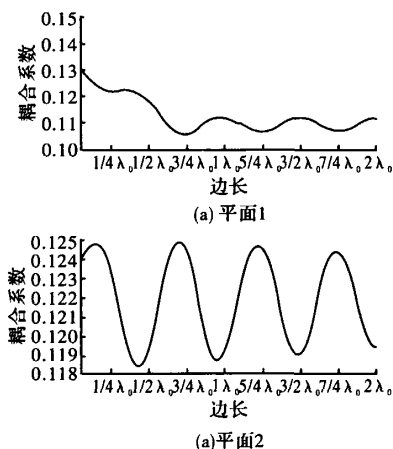


图4 耦合系数随平面半边长的变化

通过上述分析,现改变两平面的尺寸,如图5所示,取 $l_1 = l_2 = 0.76 \lambda_0$, $l'_1 = l'_2 = 0.145 \lambda_0$, $l''_1 = 0.76 \lambda_0$, $l''_2 = 0.45 \lambda_0$ 。现比较改进后的模型与原模型中两天线间的耦合如图6所示,由图5可看出两平面的尺寸经改进后,其耦合降低较多。

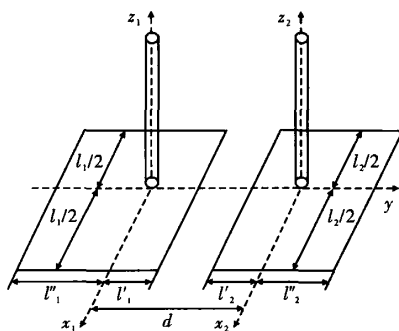


图5 改变尺寸后的模型

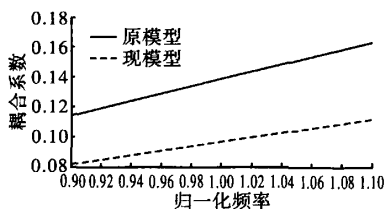
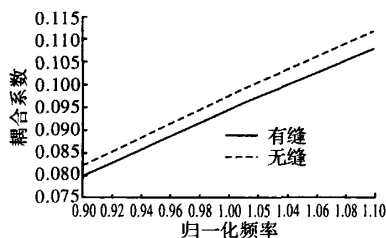
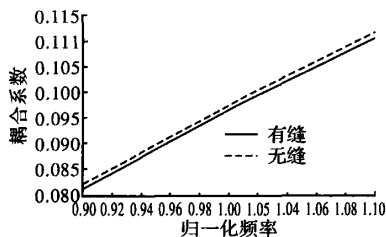


图6 原模型与现模型的耦合系数

当平面上开缝隙时由于它可引起绕射,为此会影响两天线间的耦合,图7(a)和图7(b)分别为在平面1和平面2上开一长为 $0.49\lambda_0$,宽为 $0.001\lambda_0$,其中心离边分别为 $A_1A'_1$ 和 $A_2A'_2$ 为 $0.06\lambda_0$ 并与 y 轴成对称分布的一个缝隙时的耦合系数,从此图可知,在平面上开一缝隙可降低天线间的偶合。图8为两平面均开一缝隙与只开一单缝时耦合系数比较,可看出当两平面都开缝时耦合更小。



(a) 平面1



(b) 平面2

图7 有缝与无缝的耦合系数

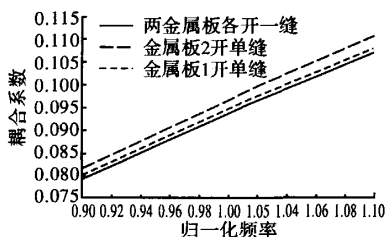
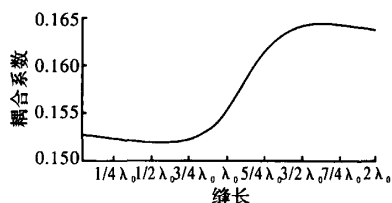


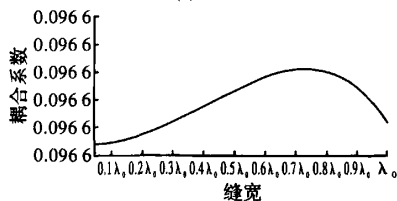
图8 单缝的耦合系数

图9(a)~图9(c)分别为耦合系数随缝隙长度、宽度和缝隙与 y 轴所成角度的变化而变化的曲线,从此图可看出缝隙长约为 $\frac{1}{2}\lambda_0$ 时偶合最小;缝的宽度对耦合的影响很小,这是由于缝隙轴向辐射为0;当缝隙与 y 轴成 90° 时耦合最小。

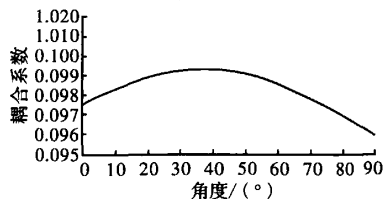
当两平面上各开有两个缝隙时,由图10可知,其相比开单缝时又进一步降低了耦合。图11为缝隙间隔对耦合的影响,此图表面了在文中所分析的模型中,当缝隙在两天线间的导电平面上时缝隙的间距对耦合的影响不大。



(a) 随缝长的变化



(b) 随缝宽的变化



(c) 随角度的变化

图9 耦合系数随缝隙参数的变化

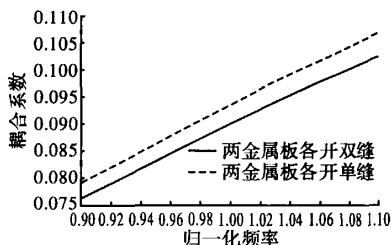


图10 单缝与双缝的耦合系数

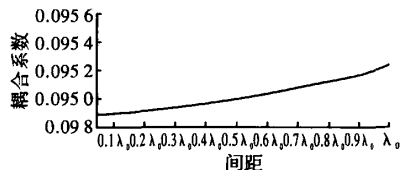


图11 耦合系数随缝隙间隔的变化

由上可推知当在两天线间的导电平面上开更多缝隙会进一步降低其间的耦合,现在在两平面上各开5个缝隙,图12表明了开5缝时又进一步降低了耦合,由此可证实多缝隙可较好地减小天线间的耦合。并通过上面的分析知缝隙的宽度和间隔对耦合的影响较小,为此采用多缝隙降低天线间耦合的方法在工程上是可行的,并可根据具体环境,安装位置及条件进行合适地加工,如可做成栅形等。有时还可兼作散热窗使用,是一种具有实用价值的方法。

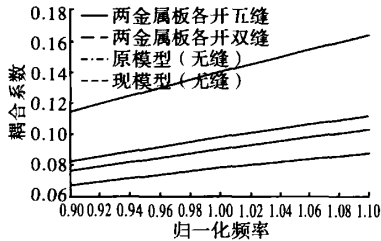


图 12 5 缝与其它几种模型的耦合系数

通过图 12 可知经对导电平面尺寸进行改进和开 5 缝后在中心频率处耦合减小 1/2, 其在实际工程中的数据也是理想的。综上可知船载天线中合理地选取导电平面尺寸或开有多缝隙都可较好地降低两天线间的耦合, 并可同时选用以更大程度地减小其耦合。

3 结束语

文中采用矩量法和一致性几何绕射理论的混合法计算出船舰上两种有限导电平面上单极子天线间的耦合。由于平面的边缘靠近辐射源(发射天线), 它对天线间的耦合有影响, 通过计算两平面各边长对耦合的影响, 得出了若合理地选取平面的尺寸, 可使其耦合变小。在导电平面上开缝隙也会影响两天线间的耦合, 文中计算并比较了在两天线间的平面上开不同数量缝隙时耦合系数的大小, 最终推出并证实了多缝隙

可较好地减小两天线间的耦合。并通过计算得出缝隙的长度大约为半工作波长且与轴成 90°时耦合最小, 而它的宽度和间距对耦合的影响较小, 也由此可知其在工程中易于实现。通过文中的研究, 在不改变两天线与平面间距离情况下, 改进两平面尺寸, 并各开 5 个缝隙, 两天线间的耦合就可降低 1/2, 结果证明文中研究的抑制耦合的方法是有效的。

参考文献

[1] Tamas R. Evaluation of the Mutual Coupling Between Shipborne Antennas [J]. Oceans - Europe, 2005 (6): 1343 - 1346.
[2] Kouyoumjian R G, Pathak P H. A Uniform Geometrical Theory of Diffraction for an Edge in a Perfectly Conducting Surface [J]. Proceedings of the IEEE, 1974 (9): 1448 - 1461.
[3] 李世智. 电磁辐射与散射问题的矩量法[M]. 北京: 电子工业出版社, 1985.
[4] John D Kraus, Ronald J Marhefka. 天线[M]. 章文勋, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.
[5] Takehiro Morioka, Kazuhiro Hirasawa. Coupling between Two Monopole Antennas on a Slotted Finite Ground Plane [J]. IEEE International Symposium on EMC, 1999 (5): 580 - 583.

(上接第 35 页)

[3] Murray A, Davis H, Cao J, et al. New Power MOSFET Technology with Extreme Ruggedness and Ultra - low Qualified to Q101 for Automotive Applications PC [C]. Proceedings of CIM2000, Europe, Power Conversion Paper PC_{4.5}, 2000: 102 - 107.
[4] Moens P, Bolognesi D, Delobel L, et al. I3T80: A 0.35 μ m Based System - on - chip Technology for 42 V Battery Automotive Applications [C]. In: Proceedings of the International Symposium on Power Semiconductor Devices, 2002: 225 - 228.

[5] Peter J Zobel. Low Power/Low Voltage CMOS Technologies, A Comparative Analysis [J]. Microelectronic Engineering, 1997, 39(1 - 4): 123 - 137.
[6] Qinfang X, Shiyu L, Meizhi R. Resistance Calculation From Geometric Layout Data by Boundary Element Method [C]. International Conference on Circuits and Systems, 1991: 863 - 866.
[7] Wang Q, Li M, Sharp J, et al. The Effects of Double - Epilayer Structure on Threshold Voltage of Ultralow Voltage Trench Power MOSFET Devices [J]. IEEE Trans. on Electron Devices, 2007, 54(4): 833 - 839.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训：

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>